

Две крупнейших компании-производители процессоров – Intel и AMD делают очередной шаг в разработке новых процессоров, которые при меньшем энергопотреблении будут работать намного быстрее предшественников. Будет освоена 14-нм технология, что позволит на 30% снизить энергопотребление. Компания Intel планирует выпустить новый 8-ми ядерный процессор Haswell с интерфейсом обмена данными с жестким диском на скорости 2 Гбайт/с, что в три раза быстрее чем у существующих процессоров.

Специализированные средства. Успешно развиваются и специализированные средства ИПЧ – фото и видеокамеры, навигаторы, видеорегистраторы.

Фотоаппараты. С каждым годом становятся все более компактнее, а качество снимков значительно возрастает. Наблюдается переход к беззеркальным фотокамерам. Характеристики масштабирования (зума) непрерывно увеличиваются. Другой тенденцией является добавление модулей беспроводной передачи данных, что позволяет отправлять снимки по Wi-Fi каналу на любой смартфон или планшет, а также в Интернет.

Видеокамеры. В настоящее время к общей оценке характеристик видеокамер относится качество изображения. Утвердился формат 16:9 с разрешением 1920x1080 пикселей. Например, видеокамера Panasonic HDC-HS300 имеет 3 фотоматрицы с общим числом 6 Мп, а остальные используются для дополнительной пространственной обработки, уменьшения шумов и увеличения чувствительности. В настоящее время MiniDV-кассеты и MiniDVD вытеснены встроенными жесткими дисками и флеш-памятью, которая более компактна, надежна и экономична, но объем памяти в ней существенно меньше, чем у жестких дисков. Но этот разрыв постепенно сокращается. В видеокамере Canon HG10 встроен жесткий диск емкостью 40 Гбайт, а в видеокамере Legria HF S10 используется флеш-карта SDHC емкостью до 32 Гбайта.

Навигаторы. Решают информационную задачу – определение пространственного положения пользователя в пределах Земли. Эта задача решается с помощью спутниковых систем глобального позиционирования GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). Разработан первый российский навигационный приемник в виде смартфона МТС 945 ГЛОНАСС, поддерживающий системы ГЛОНАСС и GPS.

### Физико-математические науки

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ МАЛОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

<sup>1</sup>Исламкулов К.М., <sup>1</sup>Айменов Ж.Т.,  
<sup>2</sup>Смагулов Д.У.

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент;

<sup>2</sup>Казахский национальный технический университет им. К.Сатпаева, Алматы, e-mail: kairat058@mail.ru

В данной работе предпринята попытка разработать модель упрочнения малоуглеродистых сталей в результате взаимодействия дислокации с искусственно внедренными атомами азота в процессе многократной механико-термической обработки.

Известно несколько типов взаимодействия дислокации с примесными атомами (упругое, электрическое, химическое, геометрическое). В сплавах железа с азотом и углеродом в основном наблюдается упругое взаимодействие, т.е. когда в железе присутствуют дислокации, часть ее находится под напряжением сжатия, часть – под напряжением растяжения и часть – под сдвиговым напряжением. Упругие поля напряжений дислокации и примесного атома взаимодействуют и примесной атом азота испытывает со стороны дислокации силу притяжения.

Упругая энергия взаимодействия растворенного атома азота с дислокацией согласно Коттреллу равна [1]:

$$E = GbR_0^3 \varepsilon \frac{\sin a}{r}, \quad (1)$$

где  $r$  и  $a$  – координаты внедренного атома азота в полярной системе координат с началом в центре дислокации;  $b$  – вектор Бюргерса;  $G$  – модуль сдвига;  $\varepsilon$  – фактор размерного несоответствия

$$\varepsilon = \frac{Rn - Ro}{Ro}; \quad Rn - \text{радиус примесного атома, } Ro - \text{радиус атома основы.}$$

Концентрация атомов азота около дислокации можно определить из соотношения Максвелла-Больцмана:

$$C_A = C_o \exp\left(-\frac{E}{kT}\right), \quad (2)$$

где  $C_o$  – средняя концентрация примеси в металле;  $E$  – энергия взаимодействия атомов азота с дислокацией;  $k$  – константа Больцмана;  $T$  – абсолютная температура.

Допускаем, что атомы азота насыщены вдоль линии дислокации, то в этом случае  $C_A = 1$  и значение  $E$  максимально.

Подставив в уравнение (2) значение  $C_A = 1$ , получим выражение для определения температуры насыщения азотом:

$$T_H = \frac{E \max}{k \ln\left(\frac{1}{C_o}\right)}. \quad (3)$$

Расчеты по формуле (3) показывают, что атмосфера из атомов азота устойчивы до температур около 400 °С.

Необходимое количество атомов азота для образования насыщенных атмосфер зависит от плотности дислокации:

$$Q_A = f(p), \quad (4)$$

где  $p$  – плотность дислокаций, см<sup>2</sup>.

Данный параметр можно определить по формуле:

$$p = p_0 + B\Delta K, \quad (5)$$

где  $p_0$  – плотность дислокации в отожженном материале;  $B$  – коэффициент пропорциональности для малоуглеродистых сталей  $B = 10^{12}$  см<sup>-2</sup>;  $\Delta K$  – приращение пика Кестера, полученный экспериментальным путем

$$\Delta K = A \cdot \varepsilon, \quad (6)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности;  $\varepsilon$  – суммарная степень деформации.

Подставляя уравнение (6) в выражение (5) можно, определить плотность дислокации, в малоуглеродистой стали 10 в процессе насыщения азотом с последующей многократной механико-термической обработкой (НА+ММО) и, следовательно, найти количество атомов азота, участвующие в блокировке дислокации, которые по расчетным данным, составляют от 0,95 до 3,91 % в зависимости от степени деформации [2].

При расчете упрочнения за счет искусственно внедренных атомов азота можно использовать в основном уравнение Орована [3]:

$$\zeta_N = \frac{Gb}{2\pi\lambda} k \ln \frac{\lambda}{2b} \quad (7)$$

где  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса;  $\lambda$  – ближайшее расстояние между атомами;  $k$  – коэффициент, характеризующий тип взаимодействующих атомов с дислокацией.

Если в уравнение (7) ввести статический коэффициент 0,85, связывающий микроскопическое напряжение течения кристалла при произвольном расположении атомов азота с напряжением течения, определенным по среднему расстоянию между частицами, и подставить поправку в место  $\lambda$  эффективную величину  $(\lambda - l)$ , т.е. расстояние между краями частиц, а не между их центрами, то уравнение Орована с учетом вышеприведенных уточнений имеет вид:

$$\zeta_N = 0,85 \cdot M \frac{Gb}{2\pi(\lambda - l)} k \ln \left( \frac{\lambda - l}{2b} \right). \quad (8)$$

Здесь  $M$  – ориентационный множитель.

Анализ уравнения показывает, что в малоуглеродистых сталях параметры  $\lambda$  и  $t$  характеризуют объемную долю атомов азота –  $\sqrt{N}$

$$V_N = \frac{\pi}{6 \left( \frac{\ell}{\lambda} \right)^2} \quad (9)$$

$$\lambda = \ell \left( \frac{\pi}{6V_N} \right)^{1/2} \quad (10)$$

Все остальные параметры в уравнении Орована (8) постоянны для данного сплава. Поэтому, применительно для малоуглеродистых сталей, уравнение Орована может быть выражено через численные коэффициенты:  $M = 2,75$ ,  $G = 84000M7a$ ,  $v = 0,25$  н.м,  $\nu = 0,33$ ,  $K = 1,25$  и параметры  $\lambda$ , либо  $V_N$  и  $l$ . Тогда расчетное уравнение Орована для малоуглеродистых сталей примет вид:

$$\zeta_N = \left( \frac{9,8 \cdot 10^3}{\lambda} \right) \ln 2\lambda \quad (11)$$

Параметр  $l$  – расстояние между атомами азота можно определить экспериментально по данным электронной микроскопии тонких фольг.

$$\lambda = n_N^{-1/2}, \quad (12)$$

где  $n_N$  – число атомов азота на единицу площади.

Зная толщину фольги  $t$  и среднюю высоту частиц  $h$ , можно найти

$$\lambda = \left( \frac{n_N}{1 + \frac{t}{h}} \right)^{-1/2} \quad (13)$$

ожидаемое среднеквадратичное отклонение измеренной величины  $S_\lambda$

$$S_\lambda = \frac{1}{2\lambda N^{-1/2}}, \quad (14)$$

где  $N$  – число частиц, расположенных на снимках площадью  $F$  Вариация величины

$$B_2 = \frac{1}{2} \sqrt{n_0} M, \quad (15)$$

где  $n_0$  – число частиц в одном кадре,  $M$  – число кадров.

Таким образом, относительная погрешность определения обратно пропорционально корню квадратному из числа просчитанных частиц.

Упрочнение малоуглеродистых сталей зависит не только от упрочнения твердого раствора феррита атомами азота, но и от напряжения трения решетки –  $\zeta_i$ , или напряжения Пайерлса – Набарро:

$$\zeta_i = \frac{2G}{1-\nu} \exp \left( -\frac{2\pi d}{(1-\nu)b} \right), \quad (16)$$

где  $G$  – модуль сдвига;  $d$  – межплоскостное расстояние;  $b$  – вектор Бюргерса.

Данное уравнение (16) можно рассчитать, если приближенно принять для малоуглеродистых сталей  $d \approx b$ ,  $\nu = 0,33$

$$d \approx b \approx 0,25 \text{ нм}, \nu = 0,33, G = 84000 \text{ МПа}$$

Механизм упрочнения малоуглеродистых сталей в процессе НА+ММТО так же зависит от упрочнения, обусловленного сопротивлением скользящей дислокации с другими дислокациями в кристалле (дислокационное упрочнение).

Многokратная пластическая деформация сопровождается образованием новых дислокаций, их взаимодействием друг с другом и увеличением их плотности. В этом случае упрочнение можно определить из следующего выражения (модель Тейлора):

$$\zeta_q = a \cdot M G b \rho^{1/2}, \quad (17)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от характера распределения и взаимодействия дислокации. Для малоуглеродистых сталей  $a = 0,20$ ,  $M = 2,75$ ;  $G = 84000 \text{ МПа}$ ;  $b = 0,25 \text{ нм}$ ,  $\rho$  – плотность дислокации.

Плотность дислокации можно определить по формуле (5).

При многократной механико-термической обработке предварительно насыщенных атомами азота малоуглеродистых сталей образуется ячеистая дислокационная структура, которая будет влиять на механизм упрочнения сталей. Ячеистая дислокационная структура характеризуется высокой плотностью дислокаций в стенках ячейки. Согласно модели дальнедействующих напряжений (модель Кульман-Вильсдорф),

стенки являются источниками дислокации. Вклад этих источников определяется длиной, т.е. средним расстоянием между узлами закрепления дислокации в стенках ячейки –  $L$ . В этом случае прочность стали будет связана с величиной, обратной  $L$ :

$$\zeta_b = a \cdot L^{-1}. \quad (18)$$

Далее, считая величину пропорциональной диаметру ячейки, получаем уравнение

$$\zeta_{я} = K_y d_{я}^{-m}, \quad (19)$$

где  $K_y$  – коэффициент, характеризующий прочность блокирования дислокаций.

Для определения величины  $m$  уравнение (19) представляют графически в координатах  $\lg \zeta - \lg d_{я}$  и по тангенсу угла наклона находят значение  $m$ . В ячеистой дислокационной структуре для ячеек любого размера  $m = 1$ . Следовательно, упрочнение металла в зависимости от ячеистой структуры имеет окончательный вид

$$\zeta_{я} = K_y d_{я}^{-1}. \quad (20)$$

В целом механизм упрочнения малоуглеродистых сталей в процессе многократной механико-термической обработки предварительно насыщенных атомами азота состоит в совокупности из отдельных механизмов упрочнения.

$$\zeta_{\Gamma} = \zeta_N + \zeta_i + \zeta_q + \zeta_{я}. \quad (21)$$

Таким образом, уравнение, описывающее механизм упрочнения малоуглеродистых сталей, имеет окончательный вид:

$$\zeta_{\Gamma} = \left( \frac{9,8 \cdot 10^3}{\lambda} \right) \ln 2\lambda + \frac{2G}{1-\nu} \exp \left( -\frac{2\pi d}{(1-\nu)b} \right) + a \cdot M G b \rho^{1/2} + K_y d_{я}^{-1}. \quad (22)$$

Результаты расчета по уравнению (22) представлены в таблице.

Показатели прочности малоуглеродистых сталей

| Материалы   | Предел текучести стали обработанные по схеме НА+ММТО, МПа |       |       |       |
|-------------|---|-------|-------|-------|
|             | I ц   | II ц  | III ц | IV ц  |
| Арко-железо | 360,8   | 445,3 | 486,9 | 520,6 |
| Сталь 10    | 369,1   | 461,5 | 540,6 | 582,3 |
| Сталь 25    | 410,3   | 523,8 | 591,5 | 648,2 |

Полученные результаты близки к экспериментальным данным.

**Список литературы**

1. Коттрелл А.Х. Сб. «Структура металлов и свойств». – Металлургиздат, 1957, 134 с.

2. Исламкулов К.М. Развитие теории упрочнения стали и разработка инновационных технологии «Нурлы Бейне», 2009, 49 с.

3. Гордиенко Л.К. Субструктурное упрочнение металлов и сплавов. – М.: Наука, 1973, 162 с.